Technical Note

Public Works Canada / Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 998-9817

No. 12: February 1983

Use of FCHART Program for PUSH Solar System Design

SYNOPSIS

Several versions of the FCHART computer program for sizing solar systems are now available and being used by designers of PUSH solar projects. The answer to a design problem will vary according to the version of FCHART being used. The various version numbers are not to be considered options of the same program. Each new version makes the previous one obsolete.

The most recent version of FCHART is 4.1, which the Solar Programs Office supports and makes available to users on the Datacrown and Control Data service bureaus. **FCHART versions 2.0, 3.0, and 4.0 are now obsolete and should not be used.**

This Technical Note provides a synopsis of the major enhancements and corrections that were introduced in FCHART versions 3.0, 4.0, and 4.1.

INTRODUCTION

A manual design method was developed by the University of Wisconsin for estimating the fraction of total heating load that can be supplied by a solar system. This manual method used a series of charts for its predictions. These charts were known as f-charts.

The University of Wisconsin subsequently produced a computer program to automate this manual method. Several other organizations also wrote programs to automate the method and many of these programs were called FCHART. However, not all these programs were completely reliable. At the same time, the authors of the original f-chart method were constantly modifying and enhancing it. As a result, it became difficult to determine which revisions had been incorporated into the various versions of the program.

For this reason, the Solar Programs Office supports only the FCHART program written by the originators of the method at the University of Wisconsin. This FCHART program has been revised several times since its original release. The most recent version supported by SPO is FCHART 4.1. The SPO no longer provides support for FCHART 3.0 or 4.0.

There have been so many major revisions and enhancements in recent years that it is worth reviewing the changes and enhancements made in the last three versions, i.e. FCHART 3.0, FCHART 4.0, and FCHART 4.1.

FEATURES OF VERSION 3.0 NOT CONTAINED IN VERSION 2.0

1) Program accepts incident angle modifier and flow rate corrector factor for air collector systems.

2) Program accepts monthly variations on mains water temperature and water set temperature.

3) Solar radiation may now be specified for tilted collector surface as well as for horizontal collector surface.

4) The mechanism for changing or adding weather data was made more convenient.

5) Input data checking capability was added.

6) Version 3.0 gives slightly lower results than version 2.0 due to an algorithm change in the ratio of diffuse to total radiation.

7) The economic analysis capability was expanded.

FEATURES OF VERSION 4.0 NOT CONTAINED IN VERSION 3.0

1) A process heating model was added, which has closed-loop heat delivery through a heat exchanger or heat pump. The user specifies monthly load totals.

2) Compound parabolic concentrating collectors can be specified for liquid-based systems.

3) Imaging concentrators with one or two axis tracking were included for liquid-based systems.

4) Version 3.0 assumed predetermined heat losses and air leakages from pipes and ducts. Version 4.0 allows the user to specify such factors. If the "NO LOSS", "NO LEAK" option is chosen, version 4.0 will give slightly higher results than version 3.0

5) Looping and optimizing routines were added to enable the user to find the optimum design based on specified parameters.

6) Economic options were enhanced to include tax credits; various auxiliary fuels and their rate structures (volume discounts); and annual fuel inflation rates.

7) A heat pump can be included in the delivery device. Performance data for five commonly used heat pumps were included. Users can add performance data for other types of heat pump, and store this data for future runs.

8) KEEP and GET options enable the user to save data for later use (system description, optimization data, weather data, heat pump data, etc.) NOTE: Each user's service bureau account must be changed in order to use these options. Most accounts have not been changed. Contact Kevin Ford at SPO for further information.

9) The f-chart correlation method was based on the assumption that the required temperature of the space heating load would be greater than 20°C. For many applications, such as warehouses, this assumption is not valid. FCHART 4.0 was enhanced to allow the modelling of such cases by incorporating a radiation statistic termed utilizability.

This feature places restrictions on the program:

a) Lower limit on storage area increased to 200 kJ/(m^2.°C)
b) Only due south collector orientations can be specified, requiring three runs (using both FCHART 3.0 and FCHART 4.0) to model other orientations. Contact Kevin Ford at SPO for details.
c) The utilizability factor forces a lower flow rate limit.

The addition of this utilizability factor is a major breakthrough in the correlation method and it alone justifies the release of a new version.

FEATURES OF VERSION 4.1 NOT CONTAINED IN VERSION 4.0

1) Lower limit on storage was reduced to 150 kJ/(m^2.°C).

2) Any orientation of flat plate collectors can be accommodated.

3) For liquid systems, utilizability factor incorporates a correlation that is accurate for any azimuth angle. Note: Version 4.1 therefore gives different results than Version 4.0 for liquid systems with south-facing collectors.

4) Improved design methods provide increased accuracy for calculations of effect of storage capacity on system performance.

5) For DHW systems, there is a more accurate method for calculation of the effect of auxiliary tank heat losses on system performance.

6) The manner in which the algorithm splits radiation into beam and diffuse has been modified, which affects the calculation of tilted surface radiation. This provides a more accurate prediction of solar energy supplied in areas with large amounts of diffuse radiation (e.g. the maritime provinces). Previous versions underpredicted solar energy supplied under such conditions.

7) The b_0 method for calculating the decay of collector performance due to incident angle is not valid for all collectors. An additional method to model the remaining collectors is available as an option in version 4.1. See Technical Note #13.

USE OF FCHART 4.1 TO MODEL NON-STANDARD SYSTEM CONFIGURATIONS

The following methods for using FCHART 4.1 to model non-standard system configurations have been verified by studies by the authors of FCHART at the Wisconsin Solar Energy Laboratory.

1) Single-tank DHW systems

Single-tank DHW systems can be simulated by defining an effective two-tank system in which the auxiliary tank is given a UA (parameter S5) equal to the portion of the single tank that is above the heating element. The preheat tank is given the same total capacitance (parameter S1) and heat loss coefficient (parameter S3) as the single tank.

2) In-tank heat exchanger

An in-tank heat exchanger can be simulated by defining the parameter T1 as the product of the heat exchanger effectiveness and the capacitance rate per unit collector area of the collector working fluid. This method assumes that the heat exchanger effectiveness is constant over the range of operating temperatures. The effectiveness of the in-tank heat exchanger is defined as the actual heat transfer across the heat exchanger divided by the heat transfer that would occur if the temperature of the fluid leaving the heat exchanger were equal to the temperature in the storage tank.

MICROCOMPUTER-BASED VERSIONS OF FCHART

Several versions of FCHART are available on various microcomputers. Probably the most popular is that developed by Beckman Duffie Associates which runs on a standard APPLE II microcomputer. They also have another version that runs on most microcomputers with CPM operating systems. Although the Solar Programs Office has used the Beckman Duffie Associates FCHART program for more than a year, there are problems associated with using such a tool. Since the solar industry is in a constant state of change one should expect that the modelling tools will be constantly updated to reflect the many new ideas and systems that develop. This is demonstrated by the number and magnitude of the changes discussed in this note which have occurred in the past two years. Following the release of a program, many error notices are usually issued requiring that owners modify their programs. Users of microcomputer versions do not always receive such error notices. Users of FCHART 4.1, are assured that updates and modifications are done by the SPO. Also, one cannot assume that the microcomputer version is as capable as the version available on the mainframe.

RECOMMENDATIONS

FCHART versions 2.0, 3.0, and 4.0 are now obsolete and should not be used. It is recommended that all FCHART users take advantage of the version 4.1 enhancements and of the SPO's support by using FCHART 4.1 on the Datacrown or Control Data service bureau. FCHART 4.1 user manuals are available from the Solar Programs Office.

For information and assistance, contact:

Kevin Ford
Design Aids Engineer
Solar Programs Office
Public Works Canada
Sir Charles Tupper Building
Riverside Drive
OTTAWA, K1A 0M2

Telephone: (613) 998-3641

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 996-6817

N° 12: février, 1983

Utilisation du programme FCHART pour la conception de systèmes solaires AUES

SOMMAIRE

Plusieurs versions du programme FCHART servant au dimensionnement des systèmes solaires sont actuellement utilisés par les concepteurs de projets solaires AUES. La réponse à un problème de conception variera selon la version du FCHART utilisée. Les divers numéros de version ne doivent pas être considérés comme des options du même programme, puisque chaque nouvelle version rend périmée l'ancienne.

La plus récente version de ce programme est la 4.1, acceptée par le Bureau des programmes solaires et mis à la disposition des utilisateurs dans les bureaux des façonniers Datacrown et Control Data. **Les versions 2.0, 3.0, et 4.0 du FCHART sont maintenant périmées et ne devraient plus être utilisées.**

Le Bulletin technique présente un résumé des principales améliorations et corrections apportées aux versions 3.0, 4.0 et 4.1 du FCHART.

INTRODUCTION

L'Université du Wisconsin a mis au point une méthode de conception manuelle pour calculer la fraction de la charge totale de chauffage qui peut être fournie par un système solaire. Cette méthode manuelle fait appel à une série de tableaux pour les prévisions. On a appelé ces derniers "tableaux-F".

L'Université du Wisconsin a par la suite produit un programme informatique visant à automatiser cette méthode manuelle. Plusieurs autres organismes ont également rédigé des programmes destinés à automatiser ladite méthode, et bon nombre de ces programmes ont été désignés sous l'appellation FCHART; mais ils ne sont pas tous fiables. Au même moment, les auteurs de la méthode FChart originale modifiait et améliorait sans cesse leur produit. Finalement, il devint difficile de déterminer quelles révisions avaient été incorporées aux diverses versions du programme.

Pour cette raison, le Bureau des programmes solaires n'accepte que le programme FCHART rédigé par les créateurs de cette méthode à l'Université du Wisconsin. Ce programme a été révisé à plusieurs reprises depuis sa première version. La version la plus récente acceptée par le BPS est le FCHART 4.1. Le BPS n'assure plus le soutien pour les FCHART 3.0 ou 4.0

Il y a eu tellement d'importantes révisions et améliorations au cours des dernières années qu'il vaut la peine de revoir celles qui ont été apportées aux trois dernières versions, c'est-à-dire FCHART 3.0, FCHART 4.0 et FCHART 4.1.

CARACTÉRISTIQUES DE LA VERSION 3.0 QUE L'ON NE RETROUVAIENT PAS DANS LA VERSION 2.0

1) Le programme accepte un modificateur de l'angle incident et un facteur de correction du débit pour les capteurs à air.

2) Le programme accepte des variations mensuelles de la température de la conduite d'eau principale et de la température visée.

3) On peut maintenant préciser le rayonnement solaire pour les surfaces captantes inclinées ainsi que pour les surfaces captantes horizontales.

4) Le mécanisme de modification ou d'ajout de données météorologiques est maintenant plus pratique.

5) On a ajouté la fonction de contrôle des données d'entrée.

6) La version 3.0 donne des résultats légèrement inférieurs à ceux de la version 2.0 à cause de la modification d'un algorithme (coefficient rayonnement diffus-rayonnement direct).

7) On a augmenté la puissance de la fonction d'analyse économique.

CARACTÉRISTIQUES DE LA VERSION 4.0 QUE L'ON NE RETROUVAIENT PAS DANS LA VERSION 3.0

1) On a ajouté un modèle de système d'énergie industrielle, qui possède un système de distribution de la chaleur en boucle fermée faisant appel à un échangeur de chaleur ou à une thermopompe. L'utilisateur indique les charges mensuelles totales.

2) On peut spécifier des miroirs composés à foyer quasi-ponctuel pour des systèmes à liquide.

3) On a inclus des concentrateurs avec poursuite par rotation autour d'un ou deux axes pour les systèmes à liquide.

4) La version 3.0 supposait pertes de chaleur et fuites au niveau des tuyaux et des conduits. La version 4.0 permet à l'utilisateur de spécifier ces mêmes facteurs. Si celui-ci opte pour "aucune perte", "aucune fuite", la version 4.0 produira des résultats légèrement supérieurs à ceux de la version 3.0.

5) On a ajouté des sous-programme d'itération et d'optimisation pour permettre à l'utilisateur d'optimaliser le projet d'après des paramètres précis.

6) On a amélioré les options de nature économique en incluant les crédits d'impôt, divers combustibles secondaires et leurs structures tarifaires (ristournes), ainsi que les taux annuels d'augmentation du prix des combustibles.

7) On peut inclure une thermopompe dans un système de distribution. Des données sur le rendement de 5 thermopompes couramment utilisées ont été incluses. L'utilisateur peut ajouter des données sur le rendement pour d'autres types de thermopompe, et les emmagasiner pour usage ultérieur.

8) Les options KEEP et GET permettent à l'utilisateur de conserver les données pour utilisation ultérieure (description du système, données d'optimisation, données météorologiques, données sur les thermopompes, etc). REMARQUE: Le compte de chaque utilisateur chez le façonnier doit être modifié pour que ces options puissent être utilisées. La plupart des comptes n'ont pas été modifiés. Pour de plus amples détails, communiquez avec Kevin Ford, au BPS.

9) La technique de corrélation FCHART reposait sur l'hypothèse que la température visée de la charge de chauffage de l'air serait supérieure à 20°C. Pour un bon nombre d'applications, par exemple les entrepôts, cette hypothèse n'est pas valable. Le FCHART 4.0 a été amélioré de façon à permettre la modélisation de ces cas, grâce à l'intégration d'une statistique sur le rayonnement, appelée utilisabilité.

   Cet élément impose cependant certaines restrictions au programme:

   a) Limite inférieure de la surface de stockage portée à 200 kJ/(m^2.°C)

   b) Seules des orientations sud des capteurs peuvent être spécifiées, ce qui nécessite trois passages (au moyen de FCHART 3.0 et FCHART 4.0) pour la modélisation d'autres orientations. Pour obtenir de plus amples détails, communiquez avec Kevin Ford, au BPS.

   c) Le facteur d'utilisabilité impose une limite de débit inférieure.

L'ajout de ce facteur d'utilisabilité est une amélioration importante de la méthode de corrélation et justifie à lui seul cette nouvelle version.

CARACTÉRISTIQUES DE LA VERSION 4.1 QUE L'ON NE RETROUVAIENT PAS DANS LA VERSION 4.0

1) La limite inférieure de la surface de stockage a été ramenée à 150 kJ/(m^2.°C).

2) N'importe quelle orientation des capteurs plans fixes peut être indiquée.

3) Pour un système à liquide, le facteur d'utilisabilité comprend une corrélation juste pour tous les azimuts. Remarque: La version 4.1 donne donc des résultats différents de ceux de la version 4.0 pour les systèmes à liquide comportant des capteurs orientés vers le sud.

4) Des méthodes de conception améliorées permettent une plus grande précision des calculs de l'incidence de la capacité de stockage sur le rendement du système.

5) Dans le cas des systèmes DHW (chauffage de l'eau domestique), il y a une méthode plus précise pour le calcul de l'incidence des pertes de chaleur du réservoir auxiliaire sur le rendement du système.

6) La façon dont l'algorithme divise le rayonnement en rayonnement direct et en rayonnement diffus a été modifiée, ce qui a une incidence sur le calcul du rayonnement d'une surface inclinée. Cela permet de prévoir avec plus de précision l'énergie solaire fournie dans les secteurs où le rayonnement diffus est important (par exemple, les provinces maritimes). Les versions antérieures prédisaient à la baisse l'énergie solaire fournie dans ces conditions.

7) La méthode b_0 utilisée pour calculer la perte de rendement d'un capteur causée par l'angle incident n'est pas valable pour tous les capteurs. Une méthode supplémentaire permettant de modéliser les autres capteurs est maintenant offerte dans la version 4.1. Voir le Bulletin technique no. 13.

UTILISATION DU FCHART 4.1 POUR MODÉLISER LES CONFIGURATIONS DE SYSTEMES NON STANDARD

Les applications du FCHART 4.1 pour modéliser des configurations de systèmes non standard qui suivent ont été vérifiées au moyen d'études menées par les créateurs du FCHART au Laboratoire d'énergie solaire du Wisconsin.

1) Systèmes DHW à réservoir simple

Il est possible de simuler des systèmes DHW à réservoir simple en définissant un système à deux réservoirs, au réservoir auxiliaire duquel on attribue un UA (paramètre S5) égal à la partie du réservoir simple qui est au-dessus de l'élément chaufant. On attribue au réservoir de pré-chauffage la même contenance totale (paramètre S1) et le même coefficient de perte de chaleur (paramètre S3) qu'un réservoir simple.

2) Échangeur de chaleur à l'intérieur du réservoir

On peut simuler un échangeur de chaleur à l'intérieur du réservoir en définissant le paramètre Tl comme étant le produit de l'efficacité de l'échangeur de chaleur et de la capacité par unité de surface captante du fluide caloporteur. Cette méthode suppose que l'efficacité de l'échangeur de chaleur est constante pour toute la gamme des températures de fonctionnement. L'efficacité de l'échangeur de chaleur à l'intérieur du réservoir est définie comme étant le transfert réel de chaleur dans l'échangeur de chaleur, divisé par le transfert de chaleur qui se serait produit si la température du fluide quittant l'échangeur avait été égale à la température dans le réservoir de stockage.

VERSIONS DU FCHART SUR MICRO-ORDINATEUR

Plusieurs versions du FCHART sont disponibles sur divers micro-ordinateurs. Le plus populaire est probablement celui qui a été élaboré par Beckman Duffie Associates, qui peut être exécuté sur un micro-ordinateur APPLE II standard. Cette société offre également une autre version qui peut être exécutée sur la plupart des micro-ordinateurs dotés de systèmes d'exploitation CPM. Même si le Bureau des programmes solaires a utilisé le programme FCHART de Beckman Duffie Associates pendant plus d'un an, il y a encore certains problèmes reliés à l'utilisation d'un tel outil. Puisque l'industrie solaire est en constante évolution, il faut s'attendre à ce que les outils de modélisation soient constamment mis à jour de façon à tenir compte des nouveaux systèmes et nouveaux concepts. A preuve, voyez le nombre et l'importance des modifications qui sont traitées dans la présente note et qui ont été apportées au cours des deux dernières années. Après qu'un programme a été lancé, un bon nombre d'avis d'erreur sont généralement diffusés, demandant aux propriétaires de modifier leur programme. Les utilisateurs des versions sur micro-ordinateur ne reçoivent pas toujours ces avis d'erreur. Les utilisateurs du FCHART 4.1 sont assurés que les mises à jour et les modifications sont effectuées par le BPS. En outre, on ne peut supposer que la version sur micro-ordinateur est aussi puissante que la version disponible sur l'unité centrale.

RECOMMANDATIONS

Les versions 2.0, 3.0 et 4.0 du FCHART sont maintenant périmées et ne devraient plus être utilisées. Il est recommandé que tous les utilisateurs du FCHART profitent des améliorations de la version 4.1 et du soutien offert par le BPS à ceux qui utilisent le FCHART 4.1 chez les façonniers Datacrown ou Control Data. Les guides de l'utilisateur sont disponibles au Bureau des programmes solaires.

Pour obtenir des renseignements et de l'aide, communiquez avec:

Kevin Ford
Ingénieur-Conception Assistée
Bureau des programmes solaires
Travaux publics Canada
Immeuble Sir Charles Tupper
Riverside Drive
OTTAWA, K1A 0M2

Téléphone: (613) 998-3641